

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-40-44>



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛИКЕМИЧЕСКОГО ИНДЕКСА ПО ГЛЮКОЗЕ

Витол И. С.^{1*}, Мелешкина Е. П.¹, Дубцова Г. Н.²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

² Московский Государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

пшеничная мука, мультизерновая смесь, индексы перевариваемости, гликемический индекс, способы определения

АННОТАЦИЯ

Проведен анализ методов определения гликемического индекса (ГИ) пищевых продуктов *in vivo* и *in vitro*. Авторы отмечают что разница в методическом подходе к определению ГИ *in vitro* приводит к получению, трудно сопоставимых результатов. Предложена модифицированная методика определения ГИ *in vitro* в основе которой лежит метод определения гликемического индекса по глюкозе, который позволяет оценить с точки зрения сахарной нагрузки усвояемость в продуктах различных ингредиентов, и рассчитать гликемический индекс по глюкозе, образовавшейся в процессе «переваривания» исследуемого продукта *in vitro*. Модифицированная методика предусматривает использование для обеспечения более глубокого «переваривания» *in vitro* пищеварительных ферментных препаратов: Ацедин-пепсин и Панзинорм, обеспечивающих в модельных экспериментах *in vitro* высокую степень гидролиза основных макронутриентов. Условия проведения реакций ферментативного гидролиза (температура, pH, продолжительность реакции) были подобраны экспериментально. Проведенные исследования по определению ГИ *in vitro*, согласно предложенной методике показали сопоставимые значения, что свидетельствует о возможности использования данной методики для определения ГИ *in vitro*. Однако, полученные результаты следует рассматривать как ориентировочные, поскольку авторы придерживаются позиции, что истинное значение показателя ГИ может быть определено лишь по анализу крови, но и в этом случае на значение ГИ влияет множество факторов, в том числе и индивидуальные особенности организма человека.

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

TO THE QUESTION OF DETERMINING GLYCEMIC INDEX BY GLUCOSE

Irina S. Vitol^{1*}, Elena P. Meleshkina¹, Galina N. Dubtsova²

¹ All-Russian Scientific Research Institute for Grain and Products of its Processing — Branch of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russia

² Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia

KEY WORDS:

wheat flour, multi-grain mixture, digestion indices, glycemic index, determination methods

ABSTRACT

The analysis of methods for determining the glycemic index (GI) of food products *in vivo* and *in vitro*. The authors note that the difference in the methodological approach to the determination of GI *in vitro* leads to obtaining results that are difficult to compare. A modified method for determining the GI for glucose is proposed, which is based on the method for determining the glycemic index for glucose, which makes it possible to assess the digestibility of various ingredients in products in terms of sugar load, and to calculate the glycemic index for glucose formed in the process of "digestion" of the test product *in vitro*. The modified technique provides for the use of digestive enzyme preparations: Acedin-pepsin and Panzinorm to provide a deeper "digestion" *in vitro*, providing a deep degree of hydrolysis of the main macronutrients in *in vitro* model experiments. The conditions for carrying out enzymatic hydrolysis reactions (temperature, pH, reaction duration) were selected experimentally. The studies carried out to determine the GI *in vitro*, according to the proposed method, showed comparable values, which indicates the possibility of using this method for the determination of GI *in vitro*. The results obtained should be considered as indicative, since the authors adhere to the position that the true value of the GI index can only be determined by blood analysis. But in this case, the value of GI is influenced by many factors, including the individual characteristics of the human organism.

1. Введение

Сахарный диабет — одна из самых быстро увеличивающихся в масштабе проблем здравоохранения в XXI веке. Число взрослых, живущих с диабетом, за последние 20 лет возросло в три раза, что вызывает серьезную озабоченность во всем мире [1,2,3,4,5,6].

Для выработки алгоритма определения того, какое питание более благоприятно для людей, болеющих сахарным диабетом в 1981 году Дэвид Дженкинс, профессор универси-

тета Торонто (Канада), ввел понятие гликемического индекса (ГИ). Д. Дженкинс и его сотрудники провели целую серию исследований того, как организм реагирует на различные продукты питания [7,8].

Гликемический индекс — это показатель, который определяет изменение концентрации глюкозы (уровня сахара) в крови, а именно показывает, как быстро и до какого уровня возрастает концентрация глюкозы в крови при приеме пищи в зависимости от того или иного продукта. Глике-

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Витол, И.С., Мелешкина, Е.П., Дубцова, Г.Н. (2021). К вопросу определения гликемического индекса по глюкозе. Пищевые системы, 4(1), 40–44. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-40-44>

FOR CITATION: Vitol, I.S., Meleshkina, E.P., Dubtsova, G.N. (2021). To the question of determining glycemic index by glucose. Food systems, 4(1), 40–44. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-40-44>

мический индекс конкретного продукта — **понятие относительное**. [1,2,4,7]. При его определении за основу взята чистая глюкоза, гликемический индекс которой приравнен к 100. Для остальных продуктов гликемический индекс имеет значение от 0 до 100 в зависимости от того, как быстро продукт усваивается организмом человека. Продукты с высоким гликемическим индексом обеспечивают быстрое повышение концентрации глюкозы в крови. Они легко перевариваются и усваиваются организмом. Продукты с низким гликемическим индексом медленнее поднимают концентрацию глюкозы в крови потому, что углеводы, содержащиеся в таких продуктах, усваиваются медленно. Гликемический индекс [8,9] принято делить на:

- Высокий гликемический индекс — от 70 до 100;
- Средний гликемический индекс — от 50 до 70;
- Низкий гликемический индекс — ниже 50.

ГИ конкретных пищевых продуктов зависит, в первую очередь, от количества и типа углеводов, которые в них содержатся, а также от содержания жиров и белков, способов кулинарной и технологической обработки, которые оказывают влияние на их усвоение [1,2,4,5,9,10,11,12].

Гликемический индекс пищевых продуктов, как правило, определяют в *in vivo* исследовании уровня глюкозы в крови у группы людей из 6 или более человек, которые съели пищевой продукт; ответный уровень глюкозы в крови для пищевых продуктов сравнивают с уровнем глюкозы, вызванным потреблением контрольного материала с известным гликемическим индексом за фиксированный период времени, и рассчитывают гликемический индекс. Осуществляемый *in vivo* способ определения гликемического индекса считается «золотым стандартом» в этой области. В общепринятом протоколе исследований измеряют порции пищевых продуктов, содержащие от 10 до 50 грамм углеводов, которые потребляют 6 или более здоровых людей после воздержания от приема пищи в течение ночи. Берут образцы крови, как правило, из пальца, перед потреблением пищевого продукта (время ноль) и в интервалы 15–30 минут в течение двух часов сразу же после потребления пищевого продукта и анализируют уровни глюкозы в крови. Полученные в результате данные (как правило, около 7 точек данных) используют для получения кривой отклика сахара, содержащегося в крови (то есть уровень глюкозы в крови изображается в зависимости от времени), в течение двух часов после потребления исследуемого пищевого продукта. Площадь под кривой сахара, содержащегося в крови, характеризует общее повышение уровня глюкозы в крови после потребления исследуемого пищевого продукта. Аналогичное исследование проводят снова после воздержания от пищи в течение ночи, те же индивидуумы потребляют эквивалентную углеводам порцию глюкозного сахара (контрольный продукт, имеющий по определению гликемический индекс 100) или белый хлеб с определенным показателем ГИ; определяют кривую отклика уровней глюкозы в течение двух часов и измеряют площадь под кривой тем же способом, как для исследуемого пищевого продукта. Гликемический индекс исследуемого пищевого продукта рассчитывают делением площади под кривой исследуемого пищевого продукта на площадь под кривой контрольного продукта и умножением на 100 [1,2,3,10].

Поскольку такие способы определения *in vivo* гликемического индекса требуют участия человека наряду с высокой стоимостью и большими временными затратами, были осуществлены попытки разработать способы определения ГИ *in vitro*.

Один из способов определения ГИ *in vitro*, основанный на исследованиях, проведенных Н. N. Englyst и соавторами, включает измерение глюкозы, выделяющейся из исследуемого пищевого продукта при выдержке его при температуре

37 °C со смесью пищеварительных ферментов при использовании предельного колориметрического значения для определения уровня глюкозы [13].

В дальнейшем этот способ определения ГИ *in vitro* был модифицирован теми же авторами, что свидетельствует о возможности совершенствования методического подхода к определению ГИ по глюкозе [14].

Однако определения ГИ *in vitro* по методу К. N. Englyst подвергается значительной критике, в частности, от сторонников способа определения ГИ *in vivo*. Например, исследователи австралийского университета в Сиднее Garsetti et al. использовал способ Englyst для оценки показателей гликемического индекса (то есть показателей легкодоступной глюкозы) и затем сравнивали их с показателями пищевых продуктов, определенными *in vivo*, имеющих гликемический индекс от 35 до 60. Было показано, что *in vitro* способ имеет низкую прогнозирующую ценность [15].

Эта же группа ученых [16] определяла показатели гликемического индекса *in vivo* для коммерческих пищевых продуктов (один зерновой завтрак и два сэндвичевых батончика), которые имели низкие показатели гликемического индекса (<55), определенные способом Englyst исследования *in vitro*. Согласно данным J. Brand-Miller, три исследуемых зерновых продуктов имели средние показатели гликемического индекса *in vivo* 75 ± 3 , 68 ± 5 и 65 ± 5 , соответственно, и, следовательно, не могут быть классифицированы как пищевые продукты с низким гликемическим индексом. Авторы заключают, что предположение о том, что «больше нет необходимости в трудоемкой работе по исследованию *in vivo* показателей ГИ пищевого продукта», просто некорректны, и «настоятельно советуют не применять любые способы *in vitro* определения показателей ГИ пищевых продуктов для обозначения на них гликемического индекса». Наконец, авторы «настаивают на том, что производители при определении ГИ должны использовать только используемый в лабораториях стандартизованный *in vivo* способ» [16].

Еще один предлагаемый способ определения ГИ *in vitro* включает:

- (1) определение содержания белка и содержания жира в исследуемом пищевом продукте;
- (2) приведение исследуемого пищевого продукта в гомогенное и тонкодисперсное состояние для получения образца пищевого продукта, пригодного для исследования;
- (3) переваривание указанного образца в гомогенном и тонкодисперсном состоянии в количестве, достаточном для обеспечения стандартного количества доступных углеводов, смесь пищеварительных ферментов за фиксированный период времени для получения переваренного образца;
- (4) обработку всего переваренного образца, сразу после указанного фиксированного периода времени, для прекращения ферментативных реакций;
- (5) определение количества глюкозы и, по меньшей мере, двух сахаров или сахарных спиртов, выбранных из группы, состоящей из фруктозы, галактозы, лактозы, сахарозы и мальтита, в переваренном образце стадии (4);
- (6) расчет гликемического индекса исследуемого пищевого продукта, исходя из данных, полученных на стадиях (1) и (5), с использованием уравнения или метода расчета, полученного многовариантным анализом калибровочных данных для калибровки образцов, причем калибровочные данные относятся к тому же типу и получены тем же способом, что и данные для исследуемого пищевого продукта, полученные на стадиях (1) и (5), причем калибровочные образцы имеют известные *in vivo* показатели гликемического индекса [17].

Сотрудники Института питания АМН СССР в 1987 году предложили способ определения гликемического индекса по глюкозе. Способ позволяет оценить с точки зрения сахарной нагрузки усвояемость в продуктах различных ингредиентов, и рассчитать гликемический индекс по глюкозе, образовавшейся в процессе «переваривания» исследуемого продукта *in vitro* [18].

Таким образом, из изложенного выше следует, что продолжает существовать необходимость в значительно более достоверном, точном и воспроизводимом *in vitro* способе определения показателей гликемического индекса [19,20], который может быть применен к широкому ряду пищевых продуктов.

Цель исследований — совершенствование методики определения индексов перевариваемости с целью оценки гликемического индекса *in vitro*.

2. Объекты и методы

Объектом исследования служили пшеничная мука высшего сорта и мультизерновая смесь для производства зерновых хлебобулочных изделий следующего состава: семена подсолнечника, мука пшеничная, лён масличный, глютен пшеничный, мука пшеничная цельнозерновая, сухая пшеничная закваска, мука из ржаного поджаренного солода, хлопья овсяные, семена тыквы, соль, солод ржаной сухой ферментированный, сахар, отруби пшеничные, эмульгатор (рапсовый лецитин), специи (кориандр), антиокислитель (аскорбиновая кислота), комплексная пищевая добавка (пшеничный крахмал, карбонат кальция, оксид магния, дифосфат железа, витамин D₃, фолиевая кислота), вспомогательные вещества (энзимы).

Для проведения ферментативных реакций «переваривания» *in vitro* использовали коммерческие препараты пищеварительных ферментов «Ацедин-пепсина» (РУП «Белмедпрепараты», Республика Беларусь) и «Панзинорм» (АО «КРКА, д. д., Ново место», Словения). Условия проведения ферментативных реакций были подобраны экспериментально.

Определение содержания глюкозы проводили по методу Бертрана (расчет по эмпирической таблице для глюкозы); растворимого белка по методу Лоури с использованием калибровочной кривой, выражали в мг/мл; общее содержание жирных кислот определяли титриметрическим методом, выражали в количестве 0,1 н. КОН, пошедшего на титрование свободных жирных кислот, содержащихся в 1 г мучной смеси [21].

Анализ проводили в трех повторностях, результаты представлены как средние арифметические. Расхождения между параллельными определениями не превышало 3% от среднего арифметического значения при доверительной вероятности P = 0,95.

3. Результаты и обсуждение

Анализ данных по существующим методам определения GI *in vitro* позволил конкретизировать некоторые методические аспекты и предложить модифицированную методику определения GI по глюкозе в основе которого лежит метод предложенный в 1987 году М. М. Гаппаровым и сотрудниками [18].

Для иллюстрации этого метода ниже приведен следующий алгоритм решения поставленной задачи:

На первом этапе работы проводили определение индексов перевариваемости углеводов, жиров, белков образца мультизерновой смеси по предлагаемой методике.

Определение проводили в двух вариантах:

1. Контроль — исходная мультизерновая смесь,
2. Опыт — прогидролизованная с участием пищеварительных ферментов (*in vitro*) мультизерновая смесь.

Контрольное определение (без «переваривания» *in vitro*):

К 10 г мультизерновой смеси смеси добавляли 15 мл 6% CuSO₄ и 15 мл 1,25% NaOH (реактив Барнштейна), тщательно перемешивали и приливали 70 мл воды. Термостатировали в ультратермостате при 37 °С в течение 20 минут, после чего фильтровали и в фильтрате определяли: глюкозу, общее содержание жирных кислот, растворимый белок.

Опытное определение («переваривание» *in vitro*):

К 10 г мультизерновой смеси смеси добавляли 40 мл раствора «Ацедин-пепсина» (2-е таблетки в 0,1 н. HCl), перемешивали и выдерживали в ультратермостате при температуре 37 °С в течение 20 минут. Затем содержимое нейтрализовали 30 мл 0,2 н. NaHCO₃ и доводили pH до 8,2–8,5. После чего добавляли содержимое 2-х капсул «Панзинорм» (одна капсула, содержит активные липазы — 10000 ед., протеазы — не менее 400 ед., амилазы — не менее 7200 ед.) перемешивали и выдерживали при 37 °С в течение 120 минут.

По истечении времени ферментативные реакции останавливали добавлением 30 мл реактива Барнштейна. После чего фильтровали и в фильтрате определяли те же показатели, что и в контроле.

Расчет индексов переваривания проводили по формуле, представленной в работе [18]:

$$I_n = \frac{\text{количество глюкозы (жирных кислот, растворимого белка) после переваривания}}{\text{суммарное количество глюкозы (жирных кислот, растворимого белка)}} \times 100 \%$$

Полученные результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Индексы переваривания макронутриентов мультизерновой смеси

Глюкоза, мг/г			Жирные кислоты, мл 0,1 н. КОН/г			Растворимый белок, мг/мл		
контроль	опыт	I _п , %	контроль	опыт	I _п , %	контроль	опыт	I _п , %
1,52	9,11	85	3,6	4,6	52	1,6	3,4	68

GI определяли, как отношение полученного индекса перевариваемости углеводов к индексу чистой глюкозы (100%). Значение GI для мультизерновой смеси, рассчитанное согласно способу определения гликемического индекса по глюкозе равно 85, таким образом исследуемая мультизерновая смесь по существующей классификации следует отнести к продукту с высоким гликемическим индексом (>70).

На втором этапе для оценки достоверности полученных результатов было проведено аналогичное определение содержания глюкозы в образце пшеничной муки высшего сорта (с известным табличным значением) до и после «переваривания» *in vitro* (Таблица 2).

Таблица 2

Индексы переваривания макронутриентов пшеничной муки

Образец	Глюкоза, мг/г		
	контроль	опыт	ИП, %
пшеничная мука, высший сорт	0,5	1,1	69

GI пшеничной муки высшего сорта равна 69 (табличные значения GI, по данным разных источников колеблются в диапазоне 68–75) [1,10,11,22]

4. Выводы

В заключении следует отметить, что разница в методическом подходе к определению ГИ *in vitro* приводит к получению, трудно сопоставимых результатов. Проведенные исследования по определению ГИ *in vitro*, согласно предложенной методике показали сопоставимые значения, что свидетельствует о возможности использования данной методики для определения ГИ *in vitro*. Однако необходимо еще раз подчеркнуть, что полученные результаты следует рассматривать как ориентировочные, поскольку как уже

отмечалось, истинное значение показателя ГИ может быть определено лишь по анализу крови. Хотя и в этом случае на значение ГИ влияет множество факторов, в том числе и индивидуальные особенности организма человека.

В связи с этим считаем, что наметившаяся тенденция производителей некоторых пищевых продуктов выносить такого рода информацию (преимущественно о низком значении ГИ) на этикетку с целью привлечения потребителей не допустима, поскольку может вводить неподготовленных потребителей в заблуждение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барановский, А.Ю. (2008). Диетология. Руководство. СПб.: ИД Питер. 2008. — 1024 с. ISBN 978-5-469-01681-6
2. Schwingshackl, L., Hoffmann, G. (2013). Long-term effects of low glycemic index/load vs. high glycemic index/load diets on parameters of obesity and obesity-associated risks: A systematic review and meta-analysis. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 23(8), 699–706. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2013.04.008>
3. Whiting, D. R., Guariguata, L., Weil, C., Shaw, J. (2011). IDF diabetes atlas: Global estimates of the prevalence of diabetes for 2011 and 2030. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 94(3), 311–321. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2011.10.029>
4. Черникова, Н.А., Кнышенко, О.А. (2018). Гликемический индекс и его роль в управлении и контроле сахарного диабета. *Эндокринология: новости, мнения, обучение*, 7(4), 16–22. <https://doi.org/10.24411/2304-9529-2018-14002>
5. Advocacy guide to the IDF Diabetes Atlas 2019. Retrieved from <https://diabetesatlas.org/en/resources/> Accessed January 30, 2021
6. Bornhorst, G. M., Singh, R. P. (2014). Gastric digestion in vivo and in vitro: How the structural aspects of food influence the digestion process. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5(1), 111–132. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030713-092346>
7. Jenkins, D. J. A., Wolever, T. M. S., Taylor, R. H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J. M. et al. (1981). Glycemic index of foods: A physiological basis for carbohydrate exchange. *American Journal of Clinical Nutrition*, 34(3), 362–366. <https://doi.org/10.1093/ajcn/34.3.362>
8. Jenkins, D. J. A., Kendall, C. W. C., Augustin, L. S. A., Franceschi, S., Hamidi, M., Marchie, A. et al. (2002). Glycemic index: Overview of implications in health and disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), 266S–273S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.1.266s>
9. Zou, Y., Wang, W., Zheng, D., Hou, X. (2021). Glycemic deviation index: A novel method of integrating glycemic numerical value and variability. *BMC Endocrine Disorders*, 21(1), Article 52. <https://doi.org/10.1186/s12902-021-00691-z>
10. Foster-Powell, K., Holt, S. H. A., Brand-Miller, J. C. (2002). International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), 5–56. <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.1.5>
11. ISO 26642:2010. "Food products. Determination of the glycaemic index (GI) and recommendation for food classification". Technical Committee: ISO/TC34 Food products. 2010. — 18 p.
12. Смирнов, С.О., Фазулина, О.Ф. (2019). Макароны изделия с низким гликемическим индексом. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: процессы и аппараты пищевых производств*, 3, 32–41. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2019-12-3-32-41>
13. Englyst, H. N., Veenstra, J., Hudson, G. J. (1996). Measurement of rapidly available glucose (RAG) in plant foods: A potential in vitro predictor of the glycaemic response. *British Journal of Nutrition*, 75(3), 327–337. <https://doi.org/10.1079/BJN19960137>
14. Englyst, K. N., Englyst, H. N., Hudson, G. J., Cole, T. J., Cummings, J. H. (1999). Rapidly available glucose in foods: An in vitro measurement that reflects the glycaemic response. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69(3), 448–454. <https://doi.org/10.1093/ajcn/69.3.448>
15. Garsetti, M., Vinoy, S., Lang, V., Holt, S., Loyer, S., Brand-Miller, J. C. (2005). The glycemic and insulinemic index of plain sweet biscuits: Relationships to in vitro starch digestibility. *Journal of the American College of Nutrition*, 24(6), 441–447. <https://doi.org/10.1080/07315724.2005.10719489>
16. Brand-Miller, J., Holt, S. (2004). Testing the glycaemic index of foods: In vivo, not in vitro. *European Journal of Clinical Nutrition*, 58(4), 700–701. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601856>
17. Патент № 2010102733. Способ определения in vitro гликемического индекса пищевых продуктов / Дикатальдо С. Н., Магалетта Р. Л. Оpubл. 10.08.2011. Бюл. № 22.
18. Патент № 1337765 А1. Способ определения гликемического индекса пищевых продуктов по глюкозе / Гаппаров М. М., Никольская Г. В., Соколов А. И. Оpubл. 15.09.1987. Бюл. № 34.
19. Mella, C., Quilaqueo, M., Zúñiga, R. N., Troncoso, E. (2021). Impact of the Simulated Gastric Digestion Methodology on the In Vitro Intestinal Proteolysis and Lipolysis of Emulsion Gels. *Foods*, 10(2), 321. <https://doi.org/10.3390/foods10020321>
20. Dupont, D., Le Feunteun, S., Marze, S. and Souchon, I. (2018) Structuring Food to Control Its Disintegration in the Gastrointestinal Tract and Optimize Nutrient Bioavailability. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 46, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.10.005>
21. Нечаев, А.П., Траубенберг, С.Е., Кочеткова, А.А., Колпакова, В.В., Витол, И.С., Кобелева, И.В. (2006). Пищевая химия. Лабораторный практикум. — СПб.: ГИОРД 2–304 с. ISBN 5-98879-037-2
22. He, F., Chen, C., Li, F., Qi, Y., Lin, X., Liang, P. et al. (2021). An optimal glycemic load range is better for reducing obesity and diabetes risk among middle-aged and elderly adults. *Nutrition and Metabolism*, 18(1), Article 31. <https://doi.org/10.1186/s12986-020-00504-5>

REFERENCES

1. Baranovskiy, A. Yu. (2008). Dietetics. Manual. St. Petersburg: Peter Publishing House. 2008. — 1024 p. (in Russian)
2. Schwingshackl, L., Hoffmann, G. (2013). Long-term effects of low glycemic index/load vs. high glycemic index/load diets on parameters of obesity and obesity-associated risks: A systematic review and meta-analysis. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 23(8), 699–706. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2013.04.008>
3. Whiting, D. R., Guariguata, L., Weil, C., Shaw, J. (2011). IDF diabetes atlas: Global estimates of the prevalence of diabetes for 2011 and 2030. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 94(3), 311–321. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2011.10.029>
4. Chernikova, N.A., Knyshenko, O.A. (2018). Glycemic index in the management and control of diabetes mellitus. *Endocrinology. News. Opinions. Training*, 7(4), 16–22. <https://doi.org/10.24411/2304-9529-2018-14002> (in Russian)
5. Advocacy guide to the IDF Diabetes Atlas 2019. Retrieved from <https://diabetesatlas.org/en/resources/> Accessed January 30, 2021
6. Bornhorst, G. M., Singh, R. P. (2014). Gastric digestion in vivo and in vitro: How the structural aspects of food influence the digestion process. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5(1), 111–132. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030713-092346>
7. Jenkins, D. J. A., Wolever, T. M. S., Taylor, R. H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J. M. et al. (1981). Glycemic index of foods: A physiological basis for carbohydrate exchange. *American Journal of Clinical Nutrition*, 34(3), 362–366. <https://doi.org/10.1093/ajcn/34.3.362>
8. Jenkins, D. J. A., Kendall, C. W. C., Augustin, L. S. A., Franceschi, S., Hamidi, M., Marchie, A. et al. (2002). Glycemic index: Overview of implications in health and disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), 266S–273S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.1.266s>
9. Zou, Y., Wang, W., Zheng, D., Hou, X. (2021). Glycemic deviation index: A novel method of integrating glycemic numerical value and variability. *BMC Endocrine Disorders*, 21(1), Article 52. <https://doi.org/10.1186/s12902-021-00691-z>
10. Foster-Powell, K., Holt, S. H. A., Brand-Miller, J. C. (2002). International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), 5–56. <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.1.5>
11. ISO 26642: 2010. "Food products. Determination of the glycaemic index (GI) and recommendation for food classification". Technical Committee: ISO/TC34 Food products. 2010. — 18 p.
12. Smirnov, S. O. Fazullina, O.F. (2019). Pasta with low glycemic index. *Processes and food production equipment*, 3, 32–41. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2019-12-3-32-41> (in Russian)

13. Englyst, H. N., Veenstra, J., Hudson, G. J. (1996). Measurement of rapidly available glucose (RAG) in plant foods: A potential in vitro predictor of the glycaemic response. *British Journal of Nutrition*, 75(3), 327–337. <https://doi.org/10.1079/BJN19960137>
14. Englyst, K. N., Englyst, H. N., Hudson, G. J., Cole, T. J., Cummings, J. H. (1999). Rapidly available glucose in foods: An in vitro measurement that reflects the glycaemic response. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69(3), 448–454. <https://doi.org/10.1093/ajcn/69.3.448>
15. Garsetti, M., Vinoy, S., Lang, V., Holt, S., Loyer, S., Brand-Miller, J. C. (2005). The glycaemic and insulinemic index of plain sweet biscuits: Relationships to in vitro starch digestibility. *Journal of the American College of Nutrition*, 24(6), 441–447. <https://doi.org/10.1080/07315724.2005.10719489>
16. Brand-Miller, J., Holt, S. (2004). Testing the glycaemic index of foods: In vivo, not in vitro. *European Journal of Clinical Nutrition*, 58(4), 700–701. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601856>
17. Dikatal' do S. N., Magaletta R. L. Method for determining the in vitro glycaemic index of food products. Patent RF, no.2010102733. 2011. (in Russian)
18. Gapparov M. M., Nikol'skaya G.V., Sokolov A. I. Method for determining the glycaemic index of food products by glucose. Patent SU, no. 1337765 A1. 1987. (in Russian)
19. Mella, C., Quilaqueo, M., Zúñiga, R. N., Troncoso, E. (2021). Impact of the Simulated Gastric Digestion Methodology on the In Vitro Intestinal Proteolysis and Lipolysis of Emulsion Gels. *Foods*, 10(2), 321. <https://doi.org/10.3390/foods10020321>
20. Dupont, D., Le Feunteun, S., Marze, S. and Souchon, I. (2018) Structuring Food to Control Its Disintegration in the Gastrointestinal Tract and Optimize Nutrient Bioavailability. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 46, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.10.005>
21. Nechaev, A.P., Traubenberg, S.E., Kochetkova, A.A., Kolpakova, V.V., Vitol, I.S., Kobeleva, I.B. (2006). Food Chemistry. Laboratory practical work. St. Petersburg: GIOR. — 304 p. ISBN 5–98879–037–2 (in Russian)
22. He, F., Chen, C., Li, F., Qi, Y., Lin, X., Liang, P. et al. (2021). An optimal glycaemic load range is better for reducing obesity and diabetes risk among middle-aged and elderly adults. *Nutrition and Metabolism*, 18(1). Article 31. <https://doi.org/10.1186/s12986-020-00504-5>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Витол Ирина Сергеевна — кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник, Лаборатория биохимии и микробиологии зерна и продуктов его переработки, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки — филиал «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН 127434, Москва, Дмитровское шоссе, д. 11 Тел.: +7-926-709-02-07 E-mail: vitolis@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5962-8909 * автор для контактов</p>	<p>Irina S. Vitol — candidate of biological sciences, docent, senior researcher, Laboratory of Biochemistry and Microbiology of Grain and Grain Products, All-Russian Scientific Research Institute of Grain and Products of Its Processing — Branch of V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of RAS 127434, Moscow, Dmitrovskoe shosse, 11 Tel.: +7-926-709-02-07 E-mail: vitolis@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5962-8909 * corresponding author</p>
<p>Мелешкина Елена Павловна — доктор технических наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки — филиал «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН 127434, Москва, Дмитровское шоссе, д. 11 Тел.: 8-499-976-23-23 E-mail: mep5@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1339-7150</p>	<p>Elena P. Meleshkina — doctor of technical sciences, director, All-Russian Scientific Research Institute of Grain and Products of Its Processing — Branch of V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of RAS, 127434, Moscow, Dmitrovskoe shosse, 11 Tel.: +7-499-976-23-23 E-mail: mep5@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1339-7150</p>
<p>Дубцова Галина Николаевна — доктор технических наук, профессор, профессор, кафедра «Биотехнология и технология продуктов биологического синтеза» Московский государственный университет пищевых производств 125080, Москва, Волоколамское шоссе, д. 11 Тел.: +7-915-424-23-82 E-mail: doubtsova@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6032-040X</p>	<p>Galina N. Dubtsova — Doctor of Technical Sciences, professor, professor, Department of Biotechnology and Technology of Bioorganic Synthesis Products, Moscow State University of Food Production 125080, Moscow, Volokolamskoe shosse, 11. Tel.: +7-915-424-23-82 E-mail: doubtsova@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6032-040X</p>
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	The authors declare no conflict of interest
Поступила 18.02.2021	Received 18.02.2021
Поступила после рецензирования 15.03.2021	Accepted in revised 15.03.2021
Принята в печать 25.03.2021	Accepted for publication 25.03.2021